截切蔬菜之處理技術及產業之應用

王憶鎧
食品工業發展研究所副研究員

摘 要

在生鮮及輕度加工處理產品中，微生物屬於自然污染，而這些污染可能來自於許多方面，其中包括農場環境、收穫後處理及加工過程等，農產品成為微生物最佳棲息地，在加工過程中植物的組織遭受破壞，使得微生物有機會污染產品，也由於輕度加工與冷凍及裝罐產品不同，無法以熱處理方式提供降低微生物的機會，此類產品可能由於病原菌污染、保存期限短及衛生條件不易控制而造成許多風險。最近許多可能出現於蔬果之病原菌已被證明，但仍缺乏了解生鮮截切產品在加工過程中，微生物是如何代謝及生長？而許多病原菌如假單胞菌（pseudomomas）及乳酸菌（lactic acid bacteria）是否也會影響其它種類之病原菌？而這些問題正是我們管制品質及產品安全性上重要的資訊。

關鍵字：輕度加工、截切、保存期限、微生物污染

前 言

在生鮮及輕度加工處理產品中，微生物屬於自然污染，而這些污染可能來自於許多方面，其中包括農場環境、收穫後處理及加工過程等，農產品成為微生物最佳棲息地，在加工過程中植物的組織造成破壞使得微生物有機會污染產品，也由於輕度加工與冷凍及裝罐產品不同，無法以熱處理方式提供降低微生物機會，此類產品可能由於病原菌污染、保存期限短及衛生條件不易控制而造成許多風險。最近許多可能出現於蔬果之病原菌已證明，但缺乏了解影響微生物在生鮮截切產品之加工過程中，是如何代謝及生長？而許多病原菌如假單胞菌（pseudomomas）及乳酸菌（lactic acid bacteria）是否也會影響其它種類之病原菌？而這些問題正是我們管制品質及產品安全性重要的資訊。

生鮮截切蔬果之定義與特性

國際截切製造協會 (International Fresh-cut Produce Association; IFPA)和產品市場協會(Produce Marketing Association; PMA)為生鮮截切產品定義為：任何水果或蔬菜或其組合之樣品經過物理方式改變其原始型態且保持新鮮狀態之產品。IFPA 評估在美國地區 2000 年生鮮截切產品市場約佔 100-120 億美元。美國也調查對於生鮮產品在 1990 至 1998 年間對於生菜沙拉約佔 53.1%(圖 1 A)，且習慣性食用這些生鮮產品產品之比例為 75.3%(圖 1 B)，可見生鮮截切產品成長相當快，消費於生鮮蔬果之金額比起 1987 年增加 105% 。一般消費者對於生鮮截切產品之認定，通常認為此類產品是具有「方便性」及「營養性」，且具廣泛性消費特性，尤其職業婦女增多的趨勢下，此類產品已完成清洗、截切及包裝，可有效節省處理時間。

生鮮蔬果由田間收成之蔬果經過篩選、清洗、切片、清洗及消毒等處理者稱為生鮮截切蔬果，又稱為半處理蔬果或輕度加工 (minimally processed) 蔬果。此類食品具「生鮮自然」之特質，能滿足消費者新鮮、營養及健康之需求。截切加工過程如去皮、截切或切片等不僅造成污染機會，也同時傷害到蔬菜之組織與結構，使得營養物質及細胞液流出，由於此類產品未經加熱處理來降低微生物污染，也因此微生物問題造成生鮮截切產品經濟價值之風險，如保存期限短、病原菌造成食物中毒事件等。

生鮮截切蔬果微生物污染

蔬果從田間管理、收穫後處理、加工過程、及運輸中便可能召遭受微生物污染，許多文獻報導多數以此類產品之總生菌數或大腸桿菌群當作指標來管控污染程度，許多非病原性之微生物種類常出現於此類產品之表面，如腸內細菌（enterobacter）。許多蔬果之微生物含量及範圍如表 1 所示，總生菌數因不同種類範圍由 10^3~10^9CFU/g，且 80~90% 皆爲革蘭氏陰性菌，且芽菜類之菌數皆高於其它類別，增加了清洗消毒之困難度。

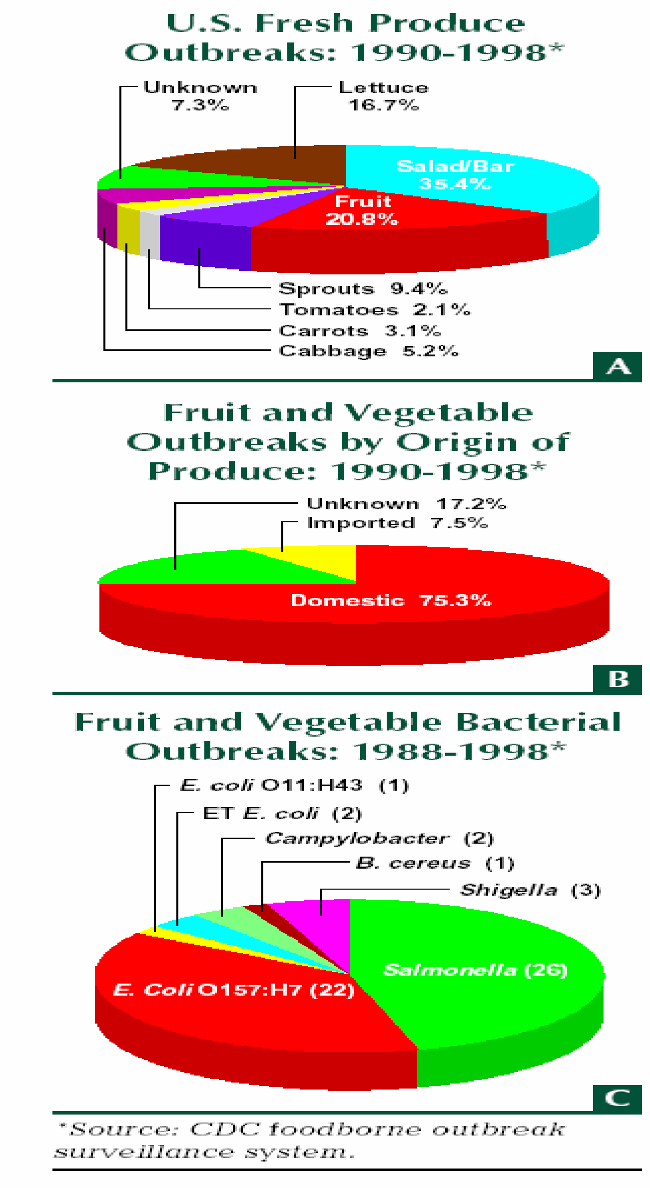

圖 1. 截切蔬果產品及其造成中毒案件統計圖

表 1.出現於各類蔬果之微生物及其含量
Table1. Total microbial populations and predominant microbial group present on vegetables.

Fresh-cut product	Microbial Population (log cfu/g)				Ref.
	Total count	Coliform count	Lactic acid bacteria	Yeast and molds	
Cabbage	6.3±1.1	5.5±1.0	ND-2.4	ND-2.2	Garg et al.,1990
Alfalfa sprout	8.5±0.7	6.2±0.8	–	–	王等, 2003
Cucumber	7.6±0.8	5.5±1.0	–	–	王等, 2003
Carrot	4.9–5.1	2.8–3.9	1.7–2.6	2.0–2.2	Odumeru et al., 1997
A pea shoot	7.4±1.2	6.5±1.4	–	–	王等, 2003
Broccoli florets	4.7	2.1	–	3.25	Jacques and Morris , 1995
Cantaloupe	6.11	–	–	–	Sapers and Simmons,1998
Shredded carrots	3.85	2.3	1.65	2.00	Siningaglia et al., 1999
Lettuce	6.2	–	–	–	Francis and O'Beirne,1998
Mixed salad	1.84–2.99	0.7–1.9	–	–	Martinez-Tome et al., 2000
Ready-to-eat salad	5.5–8.3	–	–	3–6.7	Lack et al. (1996)
Saladmix	5.35	–	–	–	Odumeru et al., 1997
Vegetable salad	4–7	–	–	–	Wright et al., 1976

今日，病原菌之問題仍是生鮮截切產品最需重視的，CDC 發表（圖 1 C）生鮮截切蔬果之常見病原菌中 Escherichia coli O157:H7 佔比例 22%，而 Salmonella 佔 26%，其它如 Campylobacter、Bacillus cereus 及 Shigella 約佔 1-3%。因此，此類產品病原菌是否造成危害成為值得重視的問題。國內曾經有李斯特菌之檢出，而國外亦常發生食品中毒之事件，如美國和日本都曾發生 E. coli O157:H7 污染而導致中毒案件；日本市售生菜，半數產品的生菌數及大腸桿菌群超過衛生標準。此外，在蔬菜清洗後的萵苣中，亦曾發現沙門氏菌、仙人掌桿菌及金黃色葡萄球菌等病原菌污染之問題。並無有效之方法可從生鮮蔬果將病原菌去除，因此食品工業必須面對此類產品可能污染源且會造成人類中毒之病原菌，將其控制至安全且合乎衛生之程度。生鮮截切產品微生物污染是存在於許多來源，其中包含農地栽種環境、收穫後處理及加工步驟等。

1. 田間管理及收穫後處理

蔬果於種植過程中受微生物污染（圖 2），如土壤、灌溉用水、肥料、蟲害、動物、人類污染、容器、清洗用水、運輸工具及儲存過程管控，而從收穫至收穫後處理亦以 HACCP 的危害管制方式加強管理，圖 3 為葉菜類蔬菜之危害管制點控制，危害點包含作業人員衛生習慣、農場之消毒工作、容器儀器之消毒、溫度管制、使用水之消毒及運輸工具消毒等。當然，收穫後不同的處理及儲存條件，直接影響蔬果之品質及污染物之生長，如表 2 所示，以儲存條件、包裝處理及真空冷卻等因子來評估蔬果於 2℃保存 14 天後，對於蔬果品質及微生物危害造成之影響結果可見，若蔬果以真空冷卻將田間熱去除後再以低溫條件儲存，將可保持蔬果原料品質，並減少危害發生。

Sources of Potential On-Farm Contamination

- Soil
- Irrigation water
- Animal manure
- Inadequately composted manure
- Wild and domestic animals
- Inadequate field worker hygiene
- Harvesting equipment
- Transport containers (field to packing facility)
- Wash and rinse water
- Unsanitary handling during sorting and packaging, in packing facilities, in wholesale or retail operations, and at home
- Equipment used to soak, pack, or cut produce
- Ice
- Cooling units (hydrocoolers)
- Transport vehicles
- Improper storage conditions (temperature)
- Improper packaging
- Cross contamination in storage, display, and preparation

圖 2. 蔬果可能來自田間之污染源

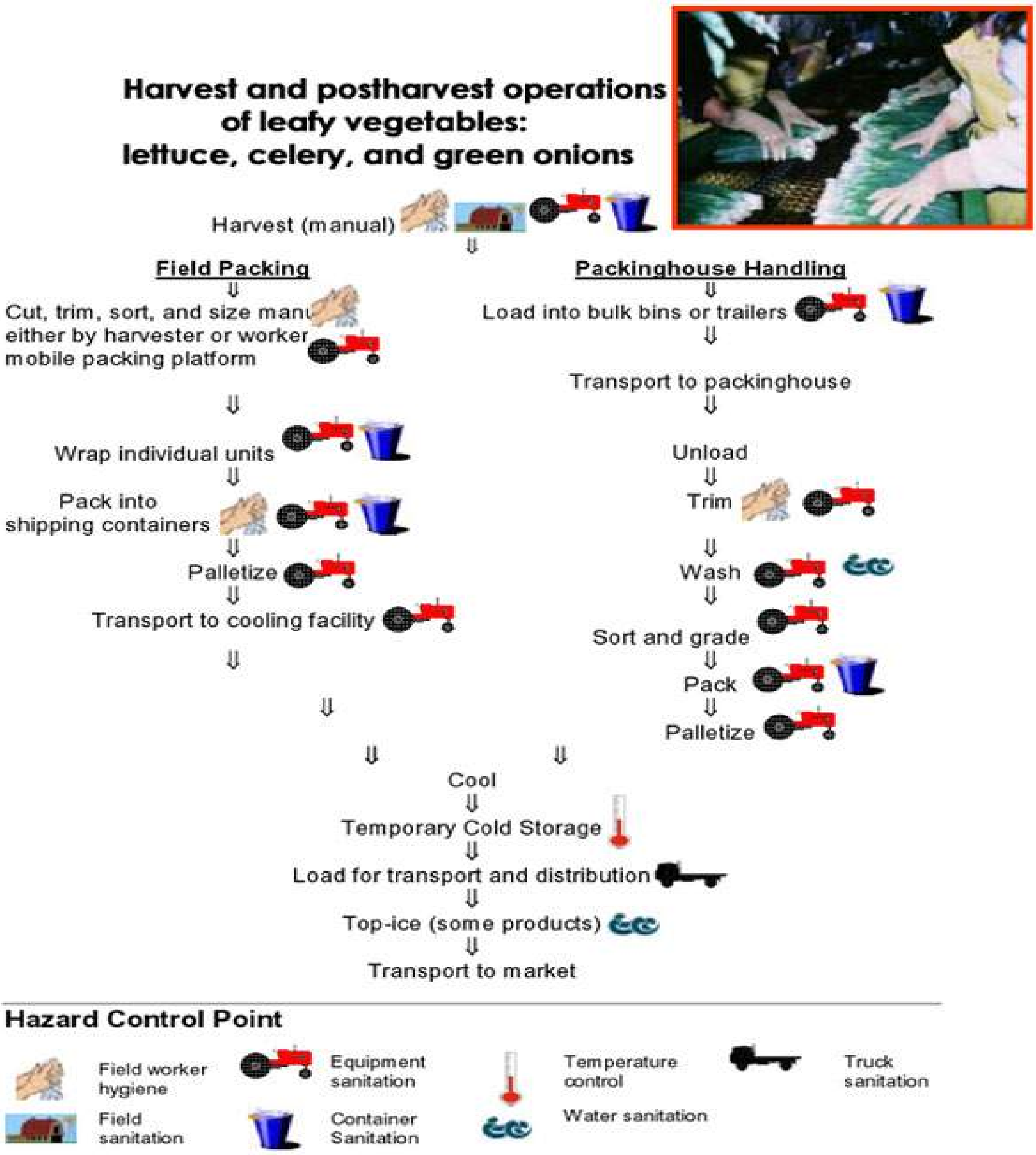

圖 3.　葉菜類危害管制點分析

2. 加工過程污染

截切蔬果於加工過程中可能由環境因素及加工機械設備造成污染，影響微生物生長及截切蔬果品質主要因子如下：

a. 食物實質特性—pH、水含量及保護植物表皮結構之破壞
b. 加工過程—清洗、浸泡、截切及包裝時之溫度保持條件
c. 非實質因子—貯存溫度及氣調條件
d. 微生物絕對特性—生長速率、生長溫度及 pH 忍受度

而加工過程中可能之微生物污染來源如表2所示，截切蔬菜使用之器具設備表面清潔度可能會造成總生菌數及大腸桿菌群提高，作業人員手部清潔度將可能直接污染產品而造成交叉污染，包裝用包材及型式也可能造成後污染發生。

表 2. 可能來自加工過程之污染源
Table2.Sources of microbial contamination of fresh-cut salad products-processing.

Source of contamination	Product example	Microflora	Ref.
Equipment- trimming, cutting. surfaces	Vegetables	Total microflora and coliform	Barry-Ryan and O' beirne, 1998
Hygiene of handlers	All produce	Total microflora and coliform	King et al., 1991
Packaging	Lettuce	Microorganism present in unseal than in seal package	Magnuson et al., 1990
Use of chlorine	All product	Total count reduced by 1-3 log	Nguyen and Carlin, 1994
Wash water, water bath used by the packer	Tomatoes	increase	Tamplin,1997

生鮮截切蔬果之清洗技術

蔬果於種植過程中受微生物污染，如土壤、肥料、灌溉用水、蟲害、動物或人類污染，而加工過程、包裝及運輸亦常受污染。衛生的作業習慣及適當的消毒工作皆可有效防止微生物之污染，而利用潔淨水源來清洗蔬果表面並添加消毒劑，可降低 1~2 log 之微生物，而消毒劑作用與以下幾個因子有關：

1. 消毒劑之型態與 pH 值—消毒劑必須調整至活性最強之 pH，如次氯酸鈉可能適合微酸的 pH 值。
2. 作用時間及接觸方法—由於蔬菜表面之疏水性及表面孔隙(gooves or hollows)或氣孔(stomata)常爲微生物附著之處，致使清洗效果不佳。消毒劑必須與蔬果有效接觸數秒以上才有效果。
3. 清洗溫度—清洗用水溫度不能突然提高而影響組織。加工過程中作業環境維持於 10~15℃，而水溫爲冷藏溫度下，在加工後截切產品可降低至 2~5℃，低溫下可抑制部份微生物之生長且對於蔬果之品質亦有幫助。
4. 產品特性—不同的蔬果種類具有不同的結構表面，會直接影響消毒劑之接觸特性，且末端產品微生物要求標準亦需考量。
5. 微生物特性—何種微生物存在及這些微生物對於消毒劑之抵抗性皆有關係，針對微生物特性來選用適合之消毒劑。
6. 受到污染之程度－受污染嚴重之產品，必須清洗 2 次以上，首先用清水去除土壤，再以消毒劑消毒。

因此，理想的清洗消毒劑必須具有下列功能性：

1. 對蔬果的病原菌具有殺菌作用－添加適合之消毒劑將可針對不同來源之微生物或病原菌加以去除及殺滅。
2. 安全性高－使用前、中、後對人體、環境、空氣及設備不會造成安全危害。
3. 不受有機物之影響－消毒劑會因爲有機物而減低效果，因此，必須選用不受有機物影響之消毒劑。
4. 清洗容易且無有害物質殘留－消毒劑殘留將可能造成二次污染，故必須能清洗容易且不會與其它物質產生有害物質殘留。
5. 容易使用－消毒劑種類繁多，型式有粉狀、液狀等，部份需要調整酸鹼值，因此，

若選用容易使用之種類，將可節省時間，並可有效作用。

6. 不會影響產品風味－產品爲製造之末端，消毒劑殘留將會造成產品品質及風味之影響，因此，選用不影響產品風味之消毒劑或能有效去除殘留，才能確保品質。

國內截切蔬果主要需求爲：1.熱烹調餐飲業者或家庭作爲烹調之材料。2.冷凍業者作爲冷凍水餃類之配料或冷凍蔬菜用。3.生菜沙拉或漢堡業者等作爲即食用。供應對象不同，對微生物的衛生標準要求也不同，其中以即食性沙拉用生菜之安全性最值得顧慮。目前截切蔬菜業者最常使用次氯酸鈉降低蔬菜表面之微生物，但也由於蔬菜表面之疏水性及表面孔隙或氣孔常爲微生物附著之處，致使清洗效果不佳。而需藉由有機酸之作用使 pH 值降低及界面活性劑添加等方法來加強殺菌效，但效果仍不顯著。也造成許多工廠認爲氯水濃度越高，殺菌力愈強的錯誤觀念，由於使用氯水殺菌效果不佳，甚至可能與食品之有機物形成鹵化物，加劇危害產品品質及消費者健康，故改以其它消毒劑取代，如二氧化氯、臭氧、異硫化物、過氧化氫、電解酸性水及過醋酸等（表 3），而這些消毒劑往往對不同蔬果產品含有之不同病原菌或微生物有不同之效果。選用適當之消毒劑及清洗消毒方法將可有效降低微生物，並保持產品品質，而常用於截切蔬果之清洗方式如表 4 所示，可針對不同的蔬果種類、作業現場流程及末端產品特性來選擇最適之清洗方式，利用組合式方式來清洗截切蔬果將可提高清洗效果。

結　論

現代人追求健康飲食習慣，造成截切蔬果類產品成長迅速，也由於此類產品無法以熱處理方式提供降低微生物機會，因此，此類產品可能由於病原菌污染、保存期限短及衛生條件不易控制而造成許多風險，加工業者必須面對此類產品可能污染源，且會造成人類中毒之病原菌，將其控制至安全且合乎衛生之程度，這將是未來發展的重要目標及關鍵技術。

表 3. 常用於截切蔬果之消毒劑種類及效果

Table3.Effect of common disinfecting treatments of microbial populations on fresh-cut fruit and vegetables.

Disinfecting treatment	product	Effect on microbial count	Ref.
Chlorine	Lettuce	1.7 and 2.5 log reduction in Salmonella and Listeria	Beuchat et al.,1998
Cl_2 wash	Cataloupe Zucchini	0.12 and 1.5 log reduction in pseudomonad	Sapers et al.,1998
Chlorine dioxide	Shredded lettuce	1.1 reduction in Listeria	Zhang et al., 1996
Dichloro-isocyanurate	Vegetables	1.69-2.42 log reduction	Nicholl et al.,1998
Isothiocyanate	Iceberg lettuce	Up to 8 log reduction of E. coli O157:H7	Lin et al., 2000
Electrolyze water	Fresh cut vegetables	0.4-1.8 log reduction	Izumi, 1999
H_2O_2	Cantaloupe	0.68 log reduction in Pseudomonads	Sapers and Simmons,1998
H_2O_2 (5%)	Fruits and vegetables	3 log kills	Cherry,1999
Ozone (1.3nM)	Shredded lettuce	2 log reduction in total count	Kim et al., 1999
Peroxyacetic acid	Fruits and vegetables	2 log kills	Cherry, 1999

表 4. 常用於蔬果清洗方式之差異

Table4.The different ways are widely used for washing minimally processed fruits and vegetables

清洗方式	原　理	適用種類	優缺點
浸泡式	原料浸泡於清洗液中，使污物降低附著力	各類型蔬果	1.可作爲蔬菜預清洗，對蔬菜折損率低 2.需加強換水頻率，以防止微生物交叉污染
攪動式	利用強制流動的流動力清洗或產生氣泡攪動	葉菜類(萵苣)	增加水流及原料間相互磨擦
噴洗式	以水壓噴洗方式	葉菜類(菠菜)	1.高壓低水量較低壓大水量清洗效果佳 2.水柱噴到部份才有清洗效果
磨擦式	以表面粗糙的原件產生對原料的磨擦	根莖類(蘿蔔)	可利用刷洗裝置有效接觸原料表面，但易造成組織破壞
浮流式	利用比重或浮力差異以水流清洗分離	穀類、芽菜類	可有效分離外殼等雜物
組合式	爲提高清洗效率將幾種方式組合	依類型而異	可依原料特性設計有效清洗方式

參考文獻

1. 王憶鎧、黃錦城。2003。不同消毒劑連續式消毒對沙拉用生菜細菌之殺菌效果。台灣農業化學與食品科學，41:212-220。
2. 朱中亮、李宜穎編著。1997。 食品工廠清洗技術-原料的清洗。1-22 頁。
3. Abdul-Raouf, U. M., Beuchat, L. R. and Ammar, M. S. 1993. Survival and growth of Escherichia coli O157:H7 on salad vegetables. Appl. Environ. Microbiol. 59:1999-2006.
4. Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruits and vegetables. Trends Food Sci. Technol. 7:179-187.
5. Barry-Ryan, C. and O΄Beirne, D.1998. Quality and shelf-life of fresh cut carrot slices as affected by slicing methods. J. Food Sci. 63:851-856.
6. Beuchat, L. R. 1996. Pathogenic organisms associated with fresh produce. J. Food Prot. 59:204-216.
7. Beuchat, L. R., Nail, B. V., Adler, B. B. and Clavero, M. R. S. 1998. Efficacy of spray application of chlorinated water in killing pathogenic bacteria on raw apples, tomatoes, and lettuce. J. Food Prot. 61: 1305-1311.
8. Centers for Disease Control and Prevention. 1991. Epidemiologic notes and reports. Multistate outbreak of salmonella Poona infections-United States and Canada. Morbid. Mortal. Wkly. Rep. 40(32):549-552.
9. Cherry, J. P. 1999. Improving the safety of fresh produce with antimicrobials. Food Technol. 53: 54, 56, 59.
10. Francis, G. A. and O΄Beirne, D. 1998. Effect of the indigenous microflora of minimally processed lettuce on the survival and growth of Listeria innocua. Int. J. Food Sci. and Technol. 33:477-488.

11. Garg, N., Churey, J. J. and Splittstoesser, D. F. 1990. Effect of processing condition on the microflora of fresh-cut vegetables. J. Food Prot. 53:701-703.
12. Gorny, J. R. and Zagory, D. 2002. Produce food safety in the commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stochs, K. Gross, M. E. Saltveit, and C. Y. Wand (eds.) U.S. Department of Argiculture, Agriculture Handbook 66, Washington, D. C.
13. Guidance for Industry. 1998. Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards for Fresh Fruits and Vegetables. U. S. Department of Health and Human Services, Food And Drug Administration Center for Food Safety and Applied Nutrition.
14. Gutierrez, E. 1997. Japan prepares as O157 strikes again. Lancet 349:1156.
15. Harris, L. J., Daeschel, M. A., Stiles, M. E. and Klaenhammer, T. R. 1989. Antimicrobial activity of lactic acid bacteria against Listeria monocytogenes. J. Food Prot. 52: 384-387.
16. Heard, G. M. 1999. Microbial safety of ready-to-eat salads and minimally processed vegetables and fruits. Food Aust. 51: 414-420.
17. International Fresh-cut Produce Association (IFPA) and the Produce Marketing Association (PMA). 1999. Handling guidelines for the fresh-cut produce industry. 3rd ed. Pp.5, 7.IFPA, Alexandria. VA.
18. Izumi, H. 1999. Electrolysed water as a disinfectant for fresh cut vegetables. J. Food Sci. 64:536-537.
19. Jacques, M. A. and Morris, C. E. 1995. Bacterial population dynamics and decay on leaves of different ages of ready-to-use broad leaved endive. Int. J. Food Sci. Technol. 30:221-236.
20. Jayasekaya, N. Y. 1999. "Ecological, physiological and biotechnological properties of pseudomonads isolated from mineral waters and salads." PhD thesis, The University of NeSouth Wales, Sydney, Australia, pp. 4-58.
21. Kaufman, P. R., Handy, C. R., McLaughlin, E. W., Park, K. and Green, G. M. 2000. Understanding the dynamics of produce markets: Consumption and consolidation grow. Food and Rural Economics Division report, Economic Research Service, U. S. Department of Agriculture. Agriculture Bulletin No.758.
22. Kim, J. G., Yousef, A. E. and Chism, G. W. 1999. Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce. J. Food Safety. 19:17-34.
23. King Jr., A. D., Magnuson, J. A., Torok, T. and Goodman, N. 1991. Microbial flora and storage quality of partially processed lettuce. J. Food Sci. 56(2):459-461.
24. Lin, C. M., Kim, J., Du, W. X. and Wei, C. I. 2000. Bactericidal activity of isocyanate against pathogens on fresh produce. J. Food Prot. 63:25-30.
25. Lack, W. K., Becker, B. and Holzapfel, W. H. 1996. Hygienic quality of pre-packed ready-to-serve salads in 1995. Archiv. Fuer-Lebensmittelhygiene. 47(6):129-152.
26. Lamikanra, O., Chen, J. C., Banks, D. and Hunter, P. A. 2000. "Biochemical and microbial changes during the storage of minimally processed cantaloupe." J. Agric. Food Chem. 48: 5955-5961.
27. Lund, B. M. and Snowden, A. L. 2000. Fresh and processed fruits. In: The Microbiological Safety and Quality of Food,Volume I, eds, B. M. Lund, T. C. Baird-Parker, and G. W. Gould, Maryland: Aspen Publishers, Inc., pp. 738-758.
28. Magnuson, J. A., King, A. D. and Torok, T. 1990. Microflora of partially processed lettuce. Appl. Environ. Microbiol. 56:3851-3854.
29. Martinez-Tome, M., Vera, A. M. and Murcia, M. A. 2000. Improving the control of food production in catering establishments with particular reference to the safety of salads. Food Control. 11:437-445.
30. Marth, E. H. 1998. Extended shelf life refrigerated foods: microbiological quality and safety. Food Technol. 52(2): 57-62.
31. Nguyen-The, C. and Carlin, F. 2000. "Fresh and processed vegetables." In: The Microbiological Safety and Quality of Food,Volume I, eds, B. M. Lund, T. C. Baird-Parker, and G. W. Gould, Maryland: Aspen Publishers, Inc., pp. 620-684.

32. Nguyen-The, C. and Carlin, F. 1994. The microbiology of minimally processed fresh fruit and vegetables. Crit. Food Sci. Nutr. 34:371-401.
33. Nicholl, P. and Prendergast, M. 1998. Disinfection of shredded salads ingredients with sodium dichloroisocyanurate. J. Food Sci. Preserv. 22(1):67-79.
34. Odumeru, J. A., Mitchell, S. J., Alves, D. M. and Farber, J. M. 1997. Assessment of the microbiological quality of ready-to-use vegetables for health-care food services. J. Food Prot. 60:954-960.
35. Sapers, G. M. and Simmons, G. F. 1998. Hydrogen peroxide disinfection of minimally processed fruits and vegetables. Food Technol. 52(2):48-52.
36. Sinigaglia, M., Albenzio, M. and Corbo, M. R. 1999. Influence of process operations on shelf-life and microbial populations of fresh cut vegetables. J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 23:484-488.
37. Tamplin, M. 1997. Salmonella and cantaloupes. Dairy Food Environ. San. 17:284-286.
38. Wright, C., Komini, S. D. and Yee, R. B. 1976. Enterobacteriaceae and pseudomonas aeruginosa recovered from vegetable salads. J. Appl. Microbiol. 31:453-454.
39. Zhang, S. and Farber, J. M. 1996. The effect of various disinfectants against Listeria monocytogenes on fresh cut vegetables. Food Microbiol. 13:311-321.

Handling Techniques and Application of Fresh Cut Vegetables

Yi-kai Wang
Associate Research Scientist, Food Industry Research and Development Institute.

Summary

Microorganisms are natural contaminants of fresh produce and minimally processed fresh-cut products, and contamination arises from a number of sources, including the farm environment, postharvest handling and processing. Processing operations such cutting, shredding, and slicing not only provide opportunities for contamination but also cause damage to vegetable tissues and cellular structure, leading to leakage of nutrients and cellular fluids. Unlike other types of processing, no heat treatment is given to the produce to reduce microbial populations. Microorganisms impact the economic value of fresh-cut products by decreasing product shelf life, through spoilage, and by posing a risk to public health by causing foodborne disease. The lacking is our understanding of the factors affecting microbial contamination and colonization of fresh produce and processed fresh cuts, microbial interactions on these products and biochemical changes occurring. This information, as well as knowledge of the factors affecting the growth of microorganisms on minimally processed vegetables, is necessary if we are to control the quality and safety of fresh-cut products.

Key words：minimally processed, shredding, shelf life, microbial contamination